東海第二発電所 工事計画審査資料			
資料番号	工認-091 改34		
提出年月日	平成 30 年 7 月 26 日		

V-3-別添1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

目次

V-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針

V-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書

V-3-別添 1-1-2 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書

V-3-別添 1-1-3 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書

- V-3-別添 1-1-4 主排気筒の強度計算書
- Ⅴ-3-別添 1-1-5 換気空調設備の強度計算書
- V-3-別添 1-1-6 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書
- V-3-別添 1-1-7 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書
- V-3-別添 1-1-8 ディーゼル発電機吸気口の強度計算書
- V-3-別添 1-1-9 配管及び弁の強度計算書

V-3-別添 1-1-10 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書

V-3-別添 1-1-10-1 建屋及び構造物の強度計算書

V-3-別添 1-1-10-2 消音器の強度計算書

V-3-別添1-1-10-3 排気管,放出管及びベント管の強度計算書

V-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針

V-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書

V-3-別添1-2-1-1 防護ネットの強度計算書

- V-3-別添 1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書
- V-3-別添 1-2-1-3 架構の強度計算書

V-3-別添1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針 V-3-別添1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

: 今回ご説明分

V-3-別添 1-1-4 主排気筒の強度計算書

目	次

1.	概	\underline{g} · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
2.	基	本方針
2	. 1	位置
2	. 2	構造概要
2	. 3	評価方針・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2	. 4	適用規格・・・・・・・・・・・・・5
3.	強	度評価方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
3	. 1	評価対象部位及び評価方針・・・・・・6
3	. 2	荷重及び荷重の組合せ・・・・・・6
3	. 3	許容限界・・・・・・18
3	. 4	評価方法・・・・・・・・・・・・18
4.	評	価条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
5.	評	価結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
5	. 1	筒身, 主柱材, 斜材, 水平材, 補助柱材, 補助斜材, 補助水平材
5	. 2	筒身脚部及び鉄塔脚部(評価方法を含む) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

1. 概要

本資料は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、主 排気筒が竜巻時及び竜巻通過後においても、主排気筒の機能の維持を考慮して、主要な構造部材 が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

主排気筒について, V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ,主排気筒の「2.1 位置」,「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

主排気筒は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能 維持の方針」に示すとおり、屋外に設置する。

主排気筒の位置図を図2-1に示す。

図 2-1 主排気筒の位置図

2.2 構造概要

主排気筒は,鉄塔支持型の鋼製排気筒である。中央の内径4.5 m,高さ140 mの筒身にかか る水平力を周囲の根開き28 m,高さ104.205 m (EL.112.205 m)の鋼管トラスの4脚鉄塔を補 強して支える構造である。補強部分は高さ117.543 m (EL.125.543 m)まで主柱を伸ばすとと もに,高さ104.205 m (EL.112.205 m)以下において8脚増やす。筒身と鉄塔は,図2-2に示す 6ヶ所で接続され,制振サポート(以下「オイルダンパ」という。)と弾塑性ダンパで接合し た制震構造である。筒身の下端は固定である。

以下に、構造概要を示す。

構造概要

- ·構造形式 鉄塔支持型鋼製
- ・筒身高さ EL.148.000 m
- ・鉄塔高さ EL.125.543 m
- ・筒身径
- ・鉄塔開き 頂部開き 10.387 m
 - 基部開き 28.000 m
- ・支持点位置 EL.125.543 m, EL.112.205 m, EL.95.432 m, EL.75.444 m,
 - EL.52.618 m, EL.26.257 m
- ・接続方法 オイルダンパ (EL. 125. 543 m, EL. 112. 205 m),
 - 弾塑性ダンパ(EL.95.432 m, EL.75.444 m, EL.52.618 m),
 - 高力ボルト接合(EL.26.257 m)

鉄筋コンクリート造

・基礎



図 2-2 主排気筒概要図(単位:mm)

2.3 評価方針

主排気筒の強度評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の 「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並び に許容限界を踏まえ、主排気筒の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを 「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、

「5. 強度評価結果」にて確認する。

主排気筒の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わ せる荷重(以下「設計荷重」という。)の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選 定する。

(1) 強度評価方針

主排気筒の筒身及び鉄塔の強度評価フローを図 2-3 に示す。強度評価においては、主排気 筒の構造を踏まえ、設計竜巻による荷重に自重を加えた荷重が主排気筒に作用した場合に、 主排気筒の各評価対象部位に作用する荷重、応力等を、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必 要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す応力解析による最大部材応力に 対して、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」 に示すそれぞれの許容限界以下であることを確認する。

なお,設計竜巻による荷重が耐震評価における荷重に包絡される場合においては,耐震評価の結果により,評価対象部位が許容限界以下であることを確認する。ここで,設計竜巻による飛来物の衝突は,主排気筒の主要な支持機能を有する鉄塔部材を損傷させるものとして 考慮し,強度評価においては,飛来物の衝突による衝撃荷重は考慮しないこととする。また, 筒身への飛来物の衝突についても,鉄塔部材の損傷想定に包含される。

なお、上記のような損傷を想定しても、主排気筒の有する安全機能を発揮すべき事象(運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故伴う放射性物質の放出)が竜巻に起因して発生する ことはなく、また筒身に損傷が生じた場合は安全上支障の無い期間に補修する方針としていることから、主排気塔の安全機能に対する影響はない。

主排気筒の筒身及び鉄塔の許容限界は, V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である材料強度より算出した弾性限耐力とする。



図 2-3 主排気筒の筒身及び鉄塔の強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格,基準等を以下に示す。

- · 建築基準法·同施行令
- · 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-((社)日本建築学会, 2005)
- ・ 容器構造設計指針・同解説((社)日本建築学会,2010)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説((社)日本建築学会, 1988)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説((社)日本建築学会, 1999)
- ・ 煙突構造設計施工指針((一財)日本建築センター, 1982)
- ・ 塔状鋼構造設計指針・同解説((社)日本建築学会,1980)
- · 煙突構造設計指針((社)日本建築学会,2007)
- ・ 日本工業規格(JIS)

3. 強度評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

主排気筒の応力解析による評価対象部位は,設計竜巻による荷重を受ける主排気筒の筒身, 筒身を支持する鉄塔主要部材(主柱材,斜材,水平材,補助柱材,補助斜材,補助水平材,鉄 塔脚部)及び脚部とする。

強度評価は,図 3-1 に示す評価フローに基づき,設計荷重に対して,3次元FEMを用いた 弾性応力解析を行う。



図 3-1 応力解析による評価フロー

3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」 の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

- (1) 荷重の設定
 - a. 固定荷重

固定荷重として,持続的に生じる荷重である筒身及び鉄塔の自重の他に,ダンパ,歩廊 等の付属設備の重量を考慮する。

- d. 設計竜巻による荷重 屋外の施設であるため風圧力による荷重を考慮する。
 - (a) 風圧力による荷重(Ww)

風圧力による荷重W_wは, V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の 方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い,算出する。

 $W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$

これより、主排気筒に作用する風荷重は、次式によって算定する。

 $W_{D1} = q_1 \cdot G \cdot C \cdot A$

ここで

W_{D1}:地表面からの高さZにおける風荷重(N)

- q_1 : 速度圧 ($q_1 = 6.1 \times 10^{-3}$) (N·mm²)
- G : ガスト影響係数 (G=1.0)

C : 風力係数

(筒身部:C=0.9k_z {煙突その他の円筒構造物})(鉄塔部 {ラチス構造物の風力係数C})

- k_{z} : $k_{z} = 1.0 \ bar{z}$
- A : 地表面からの高さZにおける風向に垂直な面に投影した
 建築物の面積(見付面積) (m²)



図 3-2 鉄塔及び筒身の見付面積A

	φ	(1)	(2)	(3)
種類		0.1以下	0.1を超え 0.6 未満	0.6
鋼管	(b) 0° (正面)	2.2 k z	(1)と(3)とに掲げる数値	1.5 k z
	(d)45° (斜め)	1.7 k _z	を直線的に補間した数値	1.3 k z

表 3-1 ラチス構造物の風力係数C

ここで, φ: 充実率

(風を受ける部分の最外縁に囲まれる面積に対する見付面積の割合)



注1:上図はラチスばり及びラチス柱の断面を表す。

注2:風圧作用面積としては、 >> の作用する方向から見たラチス構面の見付面積とする。

- 図 3-3 ラチス構造物
- (b) 竜巻の荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 $W_T(W_{T1}, W_{T2})$ は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要 な施設の強度計算の方針」の「4.1(2)荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。

 $W_{T 1} = W_{P}$

 $W_{T 2} = W_W + 0.5 W_P + W_M$

なお,主排気筒は大気中に開かれており,主排気筒内外に気圧差が生じ難い構造で あるため,気圧差による荷重は考慮しない(W_P=0)。

また、「2.3(1)強度評価方針」に示したとおり、設計飛来物による衝撃荷重W_M は、飛来物の影響は鉄塔部材を損傷させるものとして考慮していることから考慮しない(W_M=0)。鉄塔部材の損傷を想定する箇所については、座屈の観点から軸力(圧 縮)の影響を考慮し、健全時に負担する軸力(圧縮)が最大であり、損傷による荷重 の再配分の影響が最も大きい最下層の主柱の補助柱とする。

図3-4に損傷を想定する箇所を示す。



図3-4 飛来物による主排気筒(鉄塔部)の損傷想定箇所

したがって,設計竜巻による複合荷重W_{T1}は0となり,W_{T2}を設計竜巻による荷重 として正面方向,斜め方向それぞれに対して考慮する。

各荷重を,表 3-2~表 3-6 及び図 3-5~図 3-8 に示す。

EL.	Ē	司定荷重(kN))
(m)	筒身	鉄塔	計
148.000	0	_	0
138.000	141	_	141
125. 543	299	0	299
112.205	333	339	672
95.432	379	937	1316
75.444	466	1443	1909
52.618	527	1854	2381
26.257	616	2705	3321
8.500	531	3383	3914

表 3-2 鉄塔及び筒身の固定荷重

注記:ダンパ,歩廊等の付属設備の重量は, 鉄塔重量に含む。

表 3-3 筒身のせん断力					
EL.	層間高さ	せん断力 (kN)			
Ζ	h	竜巻風	虱荷重		
(m)	(m)	正面方向	斜め方向		
148.000	10.000	0	0		
138.000	12.457	124	124		
125.543	13.338	335	335		
112.205	16.773	639	639		
95.432	19.988	992	992		
75.444	22.826	1543	1543		
52.618	26.361	376	369		
26.257	17.757	89	60		
8.500	0.000	242	268		



図 3-5 筒身のせん断力

		曲げモーメント		
EL.	層間高さ	(kN	• m)	
Z	h	竜巻属	風荷重	
(m)	(m)	正面方向	斜め方向	
148.000	10.000	0	0	
138.000	12.457	1240	1240	
125.543	13.338	6259	6259	
112.205	16.773	15910	15910	
95.432	19.988	34339	34339	
75.444	22.826	5871	5868	
52.618	26.361	524	679	
26.257	17.757	2479	3280	
8.500	0.000	11963	13920	

表 3-4 筒身の曲げモーメント



図 3-6 筒身の曲げモーメント

13

EL.	層間高さ	せん断力 (kN)			
Z	h	竜巻周	風荷重		
(m)	(m)	正面方向	斜め方向		
148.000	10.000	-	-		
138.000	12.457	-	-		
125.543	13.338	0	0		
112.205	16.773	113	139		
95.432	19.988	523	670		
75.444	22.826	1306	1709		
52.618	26.361	3945	4699		
26.257	17.757	6201	7455		
8.500	0.000	8745	10668		

表 3-5 鉄塔のせん断力



図 3-7 鉄塔のせん断力

		曲げモーメント	
EL.	層間高さ	(kN	• m)
Z	h	竜巻周	風荷重
(m)	(m)	正面方向	斜め方向
148.000	10.000	-	-
138.000	12.457	_	_
125.543	13.338	0	0
112.205	16.773	2533	3159
95.432	19.988	13833	17900
75.444	22.826	105517	119134
52.618	26.361	219285	252231
26.257	17.757	398503	467019
8.500	0.000	548605	650574

表 3-6 鉄塔の曲げモーメント



(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて、 主排気筒の評価対象部位ごとに設定する。

強度評価の荷重の組合せを,表 3-7 に示す。

表 3-7 荷重の組合せ

組合せ荷重 ケース	荷重状態	荷重の組合せ	水平荷重方向
ケース1	音光咕	①自重	正面
ケース2		②風圧力による荷重	斜め

3.3 許容限界

主排気筒の許容限界は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の 「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位及び評価方針」に て設定した評価対象部位ごとに材料強度より算出した弾性限耐力を用いる。

強度評価の許容限界(準拠規格・基準等)を,表 3-8 に示す。

表 3-8 許容限界(準拠規格・基準等)

評価対象部位	準拠基準等	備考
筒身	容器構造設計指針 短期	F=1.1Fと読み替える (建告第2464号に規定
鉄塔	告示 材料強度	されたJIS規定品の み)

3.4 評価方法

(1) 応力評価方法

主排気筒について、3次元FEMを用いた弾性応力解析を実施する。

(2) 断面の評価方法

主排気筒の断面の評価に用いる応力は、3次元FEMモデルを用いた応力解析により得られた各荷重による断面力(軸力,曲げモーメント,せん断力)を組み合せることにより算定する。解析には、解析コード「NASTRAN Ver. 2008. 0.0」を用いる。

- a. 筒身に対する断面の評価方法
 - (a) 応力検定

応力に対する断面算定は、「容器構造設計指針・同解説」に準拠して行う。

なお,断面性能の算定においては,腐食代2 mm(外側:1 mm,内側:1 mm)を控 除した値を用いる。

(b) 材料強度

材料強度は、「平12建告第2464号」に準拠し、材料強度F値を1.1倍した値を用いて許容応力度を算出し、部材に発生する応力が許容応力度を超えないことを確認する。

- b. 鉄塔主要部材に対する断面の評価方法
 - (a) 応力検定

応力に対する断面算定は、「建築基準法施行令第 96 条」及び「平 13 国交告第 1024 号」に準拠して行う。

なお,断面性能の算定においては,腐食代1mm(外側のみ1mm)を控除した値を 用いる。

- M :曲げモーメント (kN・m)
 Z_t :断面係数 (mm³)
 (f_c, f_bは次項による。)
- (b) 材料強度

材料強度は、「平12 建告第2464 号」に準拠し、材料強度 F 値を1.1 倍した値を用 いて算出した許容応力度に対して、部材に発生する応力が超えないことを確認する。

4. 評価条件

(1) 強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法に用いる評価条件のうち, 筒身を表 4-1 に, 鉄塔主要部材を表 4-2 に示す。

使用部材 φ×t (mm)	材質	腐食代 (mm)	最高使用 温度 (℃)	重力加速度 g (m/s ²)	空気密度 <i>ρ</i> (kg/m ³)
4532. 0×16. 0	SS400	内側 1.0 外側 1.0	35	9.80665	1.22

表 4-1 評価条件(筒身)

最大風速 V (m/s)	ガスト 影響係数 G (-)	風力係数 C (-)	k _z (-)	構造物の基準 高さ H (m)	設計用 速度圧 q (N/m ²)
100	1.0	0. 9	1.0	140.000	6, 100

表 4-2 評価条件(鉄塔主要部材)(1/2)

	使用部材	++ 65	腐食代				
万独	φ×τ (mm)		(mm)				
	406. 4×6. 4						
	406. 4×12. 7						
主柱材	558.8×12.7	S T K 4 0 0	外側 1.0				
	812. 8×12. 7						
	1016. 0×12. 7						

公粘	使用部材	材质	腐食代
力短	φ × τ (mm)		(mm)
	355.6×6.4		
斜材	457.2×6.4	STK400	外側 1.0
	508.0×6.4		
	355.6×6.4		
水平材	457.2×6.4	S T K 4 0 0	外側 1.0
	508. 0×6. 4		
	406.4×19.0	S T K 4 0 0	
	508.0×19.0		
補助主柱材	609.6×19.0	5 0 0 tt	外側 1.0
	812.8×19.0	590M	
	1016. 0×19. 0		
	355.6×12.7	C T K 4 0 0	
<u></u>	457. 2×12. 7	51K400	
1 111111111111111111111111111111111111	508. 0×12. 0	S T K 4 9 0	7 2下側 1.0
	558.8×19.0	590材	
	355.6×6.4		
補助水平材	457.2×6.4	S T K 4 0 0	外側 1.0
-	508.0×6.4		

表 4-2 評価条件(鉄塔主要部材)(2/2)

最高使用 温度	重力加速度	空気密度	最大風速	ガスト 影響係数	k z
(°C)	g (m/s ²)	ho (kg/m ³)	V (m/s)	G f (-)	(-)
35	9.80665	1.22	100	1.0	1.0

構造物の基準	設計用
高さ	速度圧
H	q
(m)	(N/m ²)
140.000	6100

5. 評価結果

- 5.1 筒身,主柱材,斜材,水平材,補助柱材,補助斜材,補助水平材 「3.4(2)断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。
 - (1) 筒身に対する断面評価結果
 筒身に対する断面評価のうち、軸力+曲げに対する評価結果を表 5-1 に、せん断に対する
 評価結果を表 5-2 に示す。

FI	使用部材		設計用断面力		断面	性能	材料	強度	応	动度	判定
EL.	$\Phi \times t$	材質	軸力	曲げ	断面積	断面係数	圧縮	曲げ	圧縮	曲げ	б. б.
Z		(-)	Ν	М	А	Z _c	cfcr	bfcr	$\sigma_{\rm c} = N / A$	$_{\rm c} \sigma_{\rm b} = M / Z_{\rm c}$	$\frac{0}{f}$ + $\frac{0}{c}$ + $\frac{1}{c}$
(m)	(mm)		(kN)	(kN•m)	(mm^2)	(mm^3)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	clcr blcr
148.000	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	141	1240	198600	223000000	192.2	207.2	0.8	5.6	$0.04 \leq 1.00$
138.000	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	440	6259	198600	223000000	192.2	207.2	2.3	28.1	$0.15 \leq 1.00$
125. 543	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	773	15910	198600	223000000	192.2	207.2	3.9	71.4	$0.37 \leq 1.00$
112.205	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	1152	34339	198600	223000000	192.2	207.2	5.9	154.0	$0.78 \leq 1.00$
95.432	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	1618	34339	198600	223000000	192.2	207.2	8.2	154.0	$0.79 \leq 1.00$
75. 444	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	2145	5877	198600	223000000	192.2	207.2	10.9	26.4	$0.19 \leq 1.00$
52.618	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	2761	3416	198600	223000000	192.2	207.2	14.0	15.4	$0.15 \le 1.00$
26.257	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	3292	14022	198600	223000000	192.2	207.2	16.6	62.9	$0.39 \leq 1.00$

表 5-1 筒身の断面評価(軸力+曲げ)

注記: 腐食代2 mm(内側:1 mm,外側:1 mm)を控除した断面により算定した断面性能により評価。

ГI	使用部材		設計用調	断面力	断面	性能	材料	強度	応	动度	判定
ĽL.		材質	せん断	曲げ	せん断断面積	断面係数	せん断	曲げ	せん断	曲げ	τ
Z	$\Phi \times t$	(—)	Q	М	A _s	Z _c	sf _{cr}	bfcr	$\tau = Q/A_s$	$_{\rm c}\sigma$ $_{\rm b}=M\!/Z_{\rm c}$	<u> </u>
(m)	(mm)		(kN)	(kN•m)	(mm^2)	(mm^3)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	s I cr
148.000	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	124	_	99300	-	69.6	_	1. 3	-	$0.02 \leq 1.00$
138.000	Ф4532. 0×16. 0	SS400	490	_	99300	_	60.9	-	5.0	_	$0.09 \leq 1.00$
125.543	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	805	_	99300	_	58.5	_	8.2	_	$0.15 \leq 1.00$
112.205	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	1201	_	99300	-	52.2	_	12.1	-	$0.24 \leq 1.00$
95.432	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	1544	_	99300	_	47.8	-	15.6	_	$0.33 \leq 1.00$
75. 444	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	376	_	99300	-	44.7	-	3.8	-	$0.09 \leq 1.00$
52.618	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	273	_	99300	_	41.6	_	2.8	_	$0.07 \leq 1.00$
26. 257	Φ 4532. 0×16. 0	SS400	608	_	99300	_	50.7	_	6.2	_	$0.13 \leq 1.00$

表 5-2 筒身の断面評価(せん断)

注記: 腐食代2 mm(内側:1 mm,外側:1 mm)を控除した断面により算定した断面性能により評価。

(2) 鉄塔主要部材に対する断面評価結果

鉄塔主要部材に対する断面評価のうち,主柱材,斜材,水平材,補助柱材,補助斜材及び 補助水平材に対する評価結果を表 5-3~表 5-8 に示す。

表 5−3 主柱の断値	□評価
-------------	-----

FI	使用部材		設計用	断面力		断面性能		成同戶	細長足	材料	強度	応フ	力度	判決	包
EL.		材質	軸力	曲げ	断面積	断面係数	回転半径	座陆政	和中央上	圧縮	曲げ	圧縮	曲げ	G	G 1
Z	$\Psi \times t$	(—)	Ν	М	А	Z _t	i	L _k	λ	f _c	f _b	$\sigma_{\rm c} = N/A$	$\sigma_b = M/Z_t$	$\frac{0}{f}$ +	$-\frac{0}{f}$
(m)	(mm)		(kN)	$(kN \cdot m)$	(mm^2)	(mm^3)	(mm)	(mm)		(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	I _c	Гь
112.205	Φ 406.4×6.4	STK400	120	18	6769	668000	141.2	8240.1	58.4	231.4	258.5	17.8	27.0	0.19 ≦	≦ 1.00
95.432	Φ 406.4×12.7	STK400	309	69	14430	1370000	138.8	10477.2	75.5	213.3	258.5	21.5	50.4	0.30 ≦	≦ 1.00
75. 444	Φ 558.8×12.7	STK400	1703	89	20040	2680000	192.8	9597.2	49.8	238.8	258.5	85.0	33.3	0.49 ≦	≦ 1.00
52.618	Φ 812. 8×12. 7	STK400	3147	189	29370	5770000	282.3	6838.1	24.2	253.8	258.5	107.2	32.8	0.55 ≦	≦ 1.00
26.257	Φ 1016. 0×12. 7	STK400	5849	298	36840	9130000	354.5	9025.3	25.5	253.3	258.5	158.8	32.7	0.76 ≦	≦ 1.00

注記: 腐食代(外側:1 mm)を控除した断面により算定した断面性能により評価。

表 5-4 斜材の断面評価

EI	使用部材		設計用	断面力		断面性能		应昆巨	細戸い	材料	強度	応	力度	判定
EL.		材質	軸力	曲げ	断面積	断面係数	回転半径	座油女	和政比	圧縮	曲げ	圧縮	曲げ	G G .
Z	$\Psi \times t$	()	Ν	Μ	А	Z _t	i	L_k	λ	f _c	f _b	$\sigma_{\rm c} = N/A$	$\sigma_b = M/Z_t$	$\frac{0}{r} + \frac{0}{r}$
(m)	(mm)		(kN)	(kN•m)	(mm^2)	(mm^3)	(mm)	(mm)		(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	I _c I _b
112.205	Φ 355.6×6.4	STK400	44		5907	_	123.1	10023.4	81.4	205.9	_	7.5	_	$0.04 \leq 1.00$
95.432	Φ457.2×6.4	STK400	794	_	7631	_	159.0	12570.6	79.1	208.8	_	104.1	_	$0.50 \le 1.00$
75.444	Φ 508.0×6.4	STK400	590	_	8492	_	177.0	14191.3	80.2	207.5	_	69.5	_	$0.34 \leq 1.00$
52.618	Φ 508.0×6.4	STK400	796		8492	_	177.0	8459.3	47.8	240.3	_	93.8	_	$0.40 \leq 1.00$
26.257	Φ 508.0×6.4	STK400	1087	_	8492	_	177.0	11344.3	64.1	225.9	_	128.1	_	$0.57 \leq 1.00$

注記: 腐食代(外側:1 mm)を控除した断面により算定した断面性能により評価。

EI	使用部材		設計用断面力断面性能		- 応屈長 - 細長比 -		材料強度		応力度		判定				
L'L.		材質	軸力	曲げ	断面積	断面係数	回転半径	座低	州山文レム	圧縮	曲げ	圧縮	曲げ	G	6.
Z	$\Psi \times t$	(—)	Ν	М	А	$Z_{\rm t}$	i	L _k	λ	f $_{\rm c}$	f _b	$\sigma_{\rm c} = N/A$	$\sigma_b = M/Z_t$	$\frac{0}{f}$.	$+\frac{0}{\mathbf{f}}$
(m)	(mm)		(kN)	$(kN \cdot m)$	(mm^2)	(mm^3)	(mm)	(mm)		(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm²)	(N/mm²)	Гc	Тb
112.205	Φ355.6×6.4	STK400	73	3	5907	506000	123.1	5193.6	42.2	244.3	258.5	12.4	6.0	0.08	≦ 1.00
95.432	Φ457.2×6.4	STK400	112	10	7631	848000	159.0	6295.0	39.6	246.0	258.5	14.7	11.8	0.11	≦ 1.00
75.444	Φ 508.0×6.4	STK400	182	4	8492	1050000	177.0	7607.2	43.0	243.8	258.5	21.5	3.9	0.11	≦ 1.00
52.618	Φ 508.0×6.4	STK400	244	5	8492	1050000	177.0	9105.9	51.4	237.5	258.5	28.8	4.8	0.14	≦ 1.00
26.257	Φ 508.0×6.4	STK400	399	4	8492	1050000	177.0	11644.2	65.8	224.1	258.5	47.0	3.9	0.23	≦ 1.00

表 5-5 水平材の断面評価

注記: 腐食代(外側:1 mm)を控除した断面により算定した断面性能により評価。

27

表 5-6 補助主柱材の断面評価

EI	使用部材		設計用	断面力		断面性能		应员官	御戸を	材料	強度	応え	的度	判定
EL.		材質	軸力	曲げ	断面積	断面係数	回転半径	座陆文	和女儿	圧縮	曲げ	圧縮	曲げ	G G
Z	$\Phi \times t$	(-)	Ν	Μ	А	Z_{t}	i	L_k	λ	f _c	f _b	$\sigma_c = N/A$	$\sigma_b = M/Z_t$	$\left \frac{0_{\rm c}}{\mathbf{f}} + \frac{0_{\rm b}}{\mathbf{f}} \right $
(m)	(mm)		(kN)	$(kN \cdot m)$	(mm^2)	(mm^3)	(mm)	(mm)		(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm²)	(N/mm^2)	I _c I _b
125. 543	Φ 406.4×19.0	STK400	85	8	21850	2020000	136.8	6573.9	48.1	240.1	258.5	3.9	4.0	$0.04 \leq 1.00$
112.205	Φ 508.0×19.0	590材	217	71	27600	3250000	172.7	8240.1	47.7	367.0	413.0	7.9	21.9	$0.08 \le 1.00$
95.432	Φ 508.0×19.0	590材	591	161	27600	3250000	172.7	10477.2	60.7	338.5	413.0	21.5	49.6	$0.19 \leq 1.00$
75.444	Φ 609.6×19.0	590材	2331	80	33340	4770000	208.5	11493.1	55.1	351.6	413.0	70.0	16.8	$0.24 \leq 1.00$
52.618	Φ 812. 8×19. 0	590材	4491	281	44830	8680000	280.2	13676.2	48.8	364.8	413.0	100.2	32.4	$0.36 \leq 1.00$
26.257	Φ 1016. 0×19. 0	590材	6401	401	56320	13800000	352.3	12988.6	36.9	385.4	413.0	113.7	29.1	$0.37 \leq 1.00$

注記: 腐食代(外側:1 mm)を控除した断面により算定した断面性能により評価。

FI	使用部材		設計用	断面力		断面性能		成品戶	如戶.42	材料	強度	応	力度	判定
EL.		材質	軸力	曲げ	断面積	断面係数	回転半径	座陆政	和山文ルし	圧縮	曲げ	圧縮	曲げ	a a
Z	$\Phi \times t$	(-)	Ν	М	А	$Z_{\rm t}$	i	L_k	λ	f _c	f _b	$\sigma_{\rm c} = N/A$	$\sigma_{b} = M Z_{t}$	$\frac{0}{f} + \frac{0}{f}$
(m)	(mm)		(kN)	$(kN \cdot m)$	(mm^2)	(mm^3)	(mm)	(mm)		(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm²)	I _c I _b
125.543	Φ 355.6×12.7	STK400	48	—	12570	_	121.0	8652.7	71.5	217.9	—	3.9	_	$0.02 \leq 1.00$
112.205	Φ 355.6×12.7	STK400	166	_	12570	_	121.0	10250.4	84.7	201.6	_	13.3	_	$0.07 \leq 1.00$
95.432	Φ 457. 2×12. 7	STK400	1052	—	16300	_	156.8	12790.3	81.6	205.7	—	64.6	_	$0.32 \leq 1.00$
75.444	Φ 508.0×12.0	STK490	1050		17110	—	175.0	14423.4	82.4	254.5	_	61.4	_	$0.25 \le 1.00$
52.618	Φ 508.0×12.0	STK490	1303	—	17110	—	175.0	17150.9	98.0	210.5	—	76.2	—	$0.37 \leq 1.00$
26.257	Φ 558.8×19.0	590材	2370	_	30470	_	190. 9	20875.2	109.4	169.2	—	77.8	—	$0.46 \leq 1.00$

表 5-7 補助斜材の断面評価

注記: 腐食代(外側:1 mm)を控除した断面により算定した断面性能により評価。

28

表 5-8 補助水平材の断面評価

FI	使用部材		設計用	断面力		断面性能		成同戶	細長比	材料	強度	応フ	力度	判定
ĽL.		材質	軸力	曲げ	断面積	断面係数	回転半径	座低以	小山大トレ	圧縮	曲げ	圧縮	曲げ	a ai
Z	Ψ×t	(—)	Ν	M	А	Z_{t}	i	L _k	λ	f _c	f _b	$\sigma_{\rm c} = N/A$	$\sigma_b = M Z_t$	$\frac{0_{\rm c}}{\mathbf{f}} + \frac{0_{\rm b}}{\mathbf{f}_{\rm c}}$
(m)	(mm)		(kN)	(kN•m)	(mm^2)	(mm^3)	(mm)	(mm)		(N/mm²)	(N/mm²)	(N/mm²)	(N/mm²)	IC ID
125. 543	Φ 355.6×6.4	STK400	30	1	5907	506000	123.1	5193.6	42.2	244.3	258.5	5.1	2.0	$0.03 \leq 1.00$
112.205	Φ 355.6×6.4	STK400	100	1	5907	506000	123.1	5581.8	45.3	242.2	258.5	17.0	2.0	$0.08 \le 1.00$
95.432	Φ 457.2×6.4	STK400	698	7	7631	848000	159.0	6683.2	42.0	244.5	258.5	91.5	8.3	$0.41 \leq 1.00$
75.444	Φ 508.0×6.4	STK400	146	3	8492	1050000	177.0	7995.4	45.2	242.3	258.5	17.2	2.9	$0.09 \leq 1.00$
52.618	Φ 508.0×6.4	STK400	371	3	8492	1050000	177.0	9494. 1	53.6	235.7	258.5	43.7	2.9	$0.20 \le 1.00$
26.257	Φ 508.0×6.4	STK400	398	12	8492	1050000	177.0	10393.1	58.7	231.1	258.5	46.9	11.5	$0.25 \le 1.00$

注記: 腐食代(外側:1 mm)を控除した断面により算定した断面性能により評価。

- 5.2 筒身脚部及び鉄塔脚部 (評価方法を含む)
 - (1) 筒身脚部の評価
 - a. 設計荷重

設計荷重は,以下に示す荷重により,筒身脚部の検討を行う。なお,筒身脚部は補強を 実施するため,自重は既設部で負担するものとし,補強部のみで設計荷重に対して検討を 行う。

筒身脚部の形状図を,図 5-1 及び図 5-2 に示す。

圧縮力	$N_{c} = 0 kN$	
	荷重ケース: 竜巻荷重	斜め方向載荷時
引抜き力	N $_{\rm t}\!=\!0$ kN	
	荷重ケース: 竜巻荷重	斜め方向載荷時
曲げモーメント	M=13920 kN·	m
	荷重ケース: 竜巻荷重	斜め方向載荷時
水平力	H = 822 kN	
	荷重ケース: 竜巻荷重	斜め方向載荷時

筒身脚部に作用する反力に対して, V-2-2-15-1「主排気筒の耐震性についての計算 書」のS。設計用荷重による反力との比較を表 5-9 に示す。

表 5-9 に示すように、水平力はS_s設計用荷重による反力の方が大きく、S_s設計用荷 重に包絡されることを確認できるため、以後の検討は省略する。また鉛直荷重と曲げモー メントによる鉛直方向荷重の合計を比較し、S_s設計用荷重の方が大きい場合は、水平力 同様検討を省略する。

	竜巻	S。設計用
	荷重時	荷重時
圧縮力(kN)	0	17000
引抜き力(kN)	0	17000
曲げモーメント (kN・m)	13920	5812
水平力(kN)	822	1089

表 5-9 筒身脚部反力比較表



図 5-1 筒身脚部概略図



図 5-2 筒身脚部概略図

b. 引抜き力の比較

竜巻時にアンカーボルトが受ける引抜力とS。設計用地震時にアンカーボルトが受ける 引抜力を比較することで、引張力と圧縮力がS。設計用地震荷重に包絡されていることを 確認する。

ボルト1本に作用する引抜力

曲げモーメントによる引抜力は、外側ボルト群からなる有効断面より算出する。 有効断面係数 $Z = 8.366 \times 10^7 \text{ mm}^3$ 曲げモーメントによる引抜力 $T = (M \cdot A_1) / Z = \frac{13920 \times 1473}{8.366 \times 10^7} \times 10^3$ = 245.1 kNボルト引抜力 $T = 245.1 \text{ kN} < 367.9 \text{ kN} (S_s) 設計用地震荷重時)$

竜巻時にアンカーボルトが受ける鉛直力はS。設計用地震荷重より小さくなるため、水 平力同様引張力及び圧縮力ともにS。設計用地震荷重に包絡されることを確認できるため、以後の検討を省略する。

(2) 鉄塔脚部の評価

a. 設計荷重

解析より求めた支点反力を座標変換して,鉄塔脚部垂直反力の向きと主柱脚部の軸方向 とを一致させ,座標変換後の垂直反力と水平反力の最大値により脚部の検討を行う。

下記の手順に従い算出した反力の、最大圧縮力、最大引張力、最大水平力を以下に示す。

最大圧縮力	$_{\rm C}N$ $_{\rm T}$	= 7703 kN	竜巻荷重	斜め方向
最大引張力	$_{\rm T}N$ $_{\rm T}$	= 3532 kN	竜巻荷重	斜め方向
最大水平力	H_{T}	= 911 kN	竜巻荷重	斜め方向
ただし,最大水平力	$t_{\rm H_T} = $	$R_x^2 + R_y^2$ b	5.	

鉄塔脚部に作用する反力に対して, V-2-2-15-1「主排気筒の耐震性についての計算 書」のS。設計用荷重による反力との比較を表 5-10 に示す。

表 5-10 に示すように、引張力はS。設計用荷重による反力の方が大きく、S。設計用荷 重に包絡されることを確認できるため、以降の検討は省略する。よって、水平力と圧縮力 を支持するベースプレート、リブプレート、刃形プレートについての結果を記載する。

	竜巻	S。設計用
	荷重時	荷重時
圧縮力 (kN)	7703	7530
引張力 (kN)	3532	4807
水平力 (kN)	911	837

表 5-10 鉄塔脚部反力比較

例) 主柱1の座標変換

下図のように主柱脚部の軸方向と全体座標系の Z 方向は一致していないため、主 柱 1 の解析より求めた反力を Z 軸周りに θ =45°,新しい Y 軸(y')周りに ϕ =10.3416°回転する。







注:特記なき寸法はmmを示す。

図 5-3 鉄塔脚部概略図

b. ベースプレート

ベースプレートの曲げ及びコンクリートへの圧縮応力度について検討する。 ・ベースプレート諸元

- サイズ 外径 $D_1 = 1616 \text{ mm}$ 内径 $d_1 = 716 \text{ mm}$ 板厚 t =24 mmボルト孔 $20 - \phi 75$ ボルト孔径 b = 75 mmボルト孔欠損断面積 $A_{B} = b^{2}/4 \cdot \pi \cdot 20 = 88360 \text{ mm}^{2}$ 材質 SS400 設計基準強度 $F = 258.5 \text{ N/mm}^2$ 許容引張応力度 $f_{t} = F = 258.5 \text{ N/mm}^2$ 許容曲げ応力度 $f_{b} = F = 258.5 \text{ N/mm}^{2}$
- (a) 下面のコンクリートに対する検討 ・圧着面の断面性能(ボルト孔控除)

主柱圧縮力

圧着面に作用する圧縮応力度

・コンクリート諸元
 設計基準強度
 許容圧縮応力度

応力度比

断面積



図 5-4 ベースプレートの寸法

$$A_{2} = \pi / 4 \cdot (D_{1}^{2-} d_{1}^{2}) - A_{B}$$

= $\pi / 4 \times (1616^{2-}716^{2}) - 88360$
= $1.560 \times 10^{6} \text{ mm}^{2}$
 $_{C} N_{T} = 7703 \text{ kN}$
 $\sigma_{c} = _{C} N_{T} / A_{2}$
= $\frac{7703}{1.560 \times 10^{6}} \times 10^{3} = 5.0 \text{ N/mm}^{2}$

$$F_{c} = 22 \text{ N/mm}^{2}$$

c f c = 2/3 · F c = 14.6 N/mm²

$$\sigma_{\rm c}/_{\rm c}$$
 f $_{\rm c} = \frac{5.0}{14.6} = 0.35 \le 1.00$



図 5-5 ベースプレートの断面

(a) ベースプレートの曲げに対する検討 ベースプレートを連続梁(リブを支点とする)とみなす。

断面係数
$$Z_1 = \frac{(t - t_c \cdot 1)^2}{6} = \frac{(24 - 1 \times 1)^2}{6} = 88.17 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

(ベースプレート上面のみの腐食代考慮,片面腐食代 $t_c = 1\text{mm}$)
・作用力
ボルト芯径 $D_2 = 1316 \text{ mm}$
ボルト本数 $n = 20 \text{ 本}$
支間距離 $L = D_2 \cdot \pi/n = 1316 \times \pi/20 = 206.7 \text{ mm}$
(ボルト周方向ピッチ)
コンクリートの圧縮応力度
 $\sigma_c = 5.0 \text{ N/mm}^2$

モーメント $M_1 = 0.6 \cdot \sigma_c \cdot L^2/8 = \frac{0.6 \times 5.0 \times 206.7^2}{8} = 16022$ N·mm/mm

曲げ応力度
$$\sigma_{\rm b} = M_1/Z_1 = \frac{16022}{88.17} = 181.8 \text{ N/mm}^2$$

応力度比
$$\sigma_{\rm b}/f_{\rm b} = \frac{181.8}{258.5} = 0.71 \le 1.00$$





図 5-8 ボルト配置図

リブプレート諸元
サイズ 高さ H=350 mm
幅 B=300-15-30=255 mm
板厚 t=14 mm
リブ枚数 n=20 枚
材質 SS400
設計基準強度 F=258.5 N/mm²
限界細長比
$$\Lambda=114.2$$

図 5-8 リブプレートの形状

(a) リブの圧縮に対する検討

 $A_2 = (t - t_c \cdot 2) \cdot B = (14 - 1 \times 2) \times 255 = 3060 \text{ mm}^2$ 断面積 (リブ両面の腐食代考慮,片面腐食代t_c=1mm)

断面 2 次半径
i = (t - t_c·2) /
$$\sqrt{12} = \frac{(14-1\times2)}{\sqrt{12}}$$
=3.5 mm
(腐食代考慮)
座屈長
 $\ell_k = H/2 = \frac{350}{2} = 175$ mm (両端固定)

座屈長

細長比

$$\lambda = \ell_{\rm k} / {\rm i} = \frac{175}{3.5} = 50.0 < \Lambda = 114.2$$

許容圧縮応力度

$$f_{c} = F \cdot \left\{ 1 - \frac{2}{5} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^{2} \right\} = 238.6 \text{ N/mm}^{2}$$

・作用力

1枚のリブに作用する圧縮力

最大圧縮力作用時

$$P_{c} = C N_{T} / n = \frac{7703}{20} = 385.2 \text{ kN}$$

 $P_{t} = T N_{T} / n = \frac{3532}{20} = 176.6 \text{ kN}$ 最大引張力作用時

 $P_c > P_t$ より以下 P_c に対してのみ照査を行う。

リブに作用する圧縮応力度
$$\sigma_{c} = P_{c}/A_{2} = \frac{385.2}{3060} \times 10^{3} = 125.9 \text{ N/mm}^{2}$$
応力度比 $\sigma_{c}/f_{c} = \frac{125.9}{238.6} = 0.53 \leq 1.00$

(b) リブの溶接部に対する検討

• 溶接部諸元

鉛直方向

溶接長	$\ell_1 = (H-30 \cdot 2) \cdot 2 = (350-30 \times 2) \times 2 = 580 \text{ mm}$
溶接脚長	$S_1 = 10 \text{ mm}$
有効のど厚	$a_1 = 0.7 \cdot S_{1-} t_c \cdot 1 = 0.7 \times 10 - 1 \times 1 = 6.0 \text{ mm}$
	(腐食代 t c=1mm)
有効面積	A _{s1} =ℓ ₁ ・a ₁ =580×6.0=3480 mm ² (腐食代考慮)

水平方向

溶接長	$\varrho_2 = B \cdot 2 = 255 \times 2 = 510 \text{ mm}$
溶接脚長	$S_2 = 10 \text{ mm}$
有効のど厚	$a_2=0.7 S_{2-} t_c \cdot 1=0.7 \times 10 - 1 \times 1=6.0 \text{ mm}$
	(腐食代 t c=1mm)
有効面積	$A_{s2} = l_2 \cdot a_2 = 510 \times 6.0 = 3060 \text{ mm}^2$

設計基準強度 F=258.5 N/mm² 許容せん断応力度

f
$$_{\rm s} = {\rm F} \, / \sqrt{3} = 149.2 \, \, {\rm N/mm^2}$$



図 5-9 溶接位置図

・作用力

鉛直方向

 $Q_1 = P_c = 385.2$ kN

『5.2(2) c. (a)による』 水平方向(鋼管壁面に作用する偏心モーメント)

$$Q_2 = P_c \cdot 150/H = \frac{385.2 \times 150}{350} = 165.1 \text{ kN}$$

リブに作用するせん断応力度

$$\tau_1 = Q_1/A_{s1} = \frac{385.2}{3480} \times 10^3 = 110.7 \text{ N/mm}^2$$

 $\tau_2 = Q_2/A_{s2} = \frac{165.1}{3060} \times 10^3 = 54.0 \text{ N/mm}^2$
応力度比
 $\tau_1/f_s = \frac{110.7}{149.2} = 0.75 \leq 1.00$
 $\tau_2/f_s = \frac{54.0}{149.2} = 0.37 \leq 1.00$

d. 刃形プレート

刃形プレートの強度検討を行う。

- ・圧縮側せん断に対する検討
 - μ · $_{\rm c}$ N $_{\rm t}$ =0.4 $\times7703$ =3081.2 kN > 911 kN
 - μ : 摩擦係数 (0.4)

圧縮側せん断力に対してはベースプレート下面の摩擦抵抗によって十分抵抗しうるた め,検討を省略する。

・引張側せん断に対する検討

水平力はアンカーボルトに負担させず全て刃形プレートで負担させる。

刃形プレート諸元

サイズ	高さ	$H\!=\!50$ mm
	幅	$\mathrm{B}\!=\!410$ mm
	板厚	$t=\!16$ mm
枚数		10 枚(36° ピッチ)
材質		S S 4 0 0
設計基準強	度	$F = 258.5 \text{ N/mm}^2$
許容曲げ応	为度	f $_{\rm b} = {\rm F} = 258.5 \ {\rm N/mm^2}$
許容せん断	応力度	f $_{\rm s} = {\rm F} / \sqrt{3} = 149.2 {\rm N/mm^2}$



図 5-10 刃形プレート形状図

(a) 刃形プレート母材に対する検討刃形プレートの強度検討を行う。

断面積
$$A_4 = t = 16 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

断面係数 $Z_4 = t^2/6 = \frac{16^2}{6} = 42.67 \text{ mm}^3/\text{mm}$

単位面積当りの水平力

$$\sigma_{c} = \frac{H_{T}}{H \cdot B \cdot \Sigma \sin \theta_{i}}$$

$$= \frac{911}{50 \times 410 \times (4 \sin 18^{\circ} + 4 \sin 54^{\circ} + 2 \sin 90^{\circ})} \times 10^{3}$$

$$= 6.9 \text{ N/mm^{2}}$$
モーメント $M_{3} = \sigma_{c} \cdot H^{2}/2 = \frac{6.9 \times 50^{2}}{2} = 8625 \text{ N} \cdot \text{mm/mm}$
せん断力 $Q = \sigma_{c} \cdot H = 6.9 \times 50 = 345.0 \text{ N/mm}$
曲げ応力度 $\sigma_{b} = M_{3}/Z_{4} = \frac{8625}{42.67} = 202.2 \text{ N/mm^{2}}$
せん断応力度 $\tau = Q/A_{4} = \frac{345.0}{16} = 21.6 \text{ N/mm^{2}}$

応力度比
$$\sigma_{b}/f_{b} = \frac{202.2}{258.5} = 0.79 \leq 1.00$$

$$\tau / f_{s} = \frac{21.6}{149.2} = 0.15 \leq 1.00$$



図 5-11 刃形プレート形状図

(b) 刃形プレート溶接部に対する検討刃形プレートの強度検討を行う。

·溶接部諸元 溶接脚長 S = 10 mm有効のど厚 $a = 0.7 \cdot S = 0.7 \times 10 = 7.0 \text{ mm}$ $\ell_1 = 15.0 \text{ mm}$ $\ell_2 = 11.5 \text{ mm}$ 有効面積(単位幅当たり) $A_s = 2 \cdot a = 2 \times 7.0 = 14.00 \text{ mm}^2/\text{mm}$ $Z_5 = A_8 \cdot \ell_2^2 / \ell_1 = \frac{14.0 \times 11.5^2}{15.0}$ 有効断面係数(単位幅当たり) $=123.4 \text{ mm}^3/\text{mm}$ 設計基準強度 $F = 258.5 \text{ N/mm}^2$ $f_{s} = F / \sqrt{3} = 149.2 \text{ N/mm}^{2}$ 許容せん断応力度 $\tau_{b} = M_{3}/Z_{5} = \frac{8625}{123.4} = 69.9 \text{ N/mm}^{2}$ 曲げ応力度 $\tau_{q} = Q/A_{s} = \frac{345.0}{14.00} = 24.7 \text{ N/mm}^{2}$ せん断応力度 $\tau = \sqrt{\tau_{b}^{2} + \tau_{q}^{2}} = \sqrt{69.9^{2} + 24.7^{2}} = 74.2 \text{ N/mm}^{2}$ 合成応力度 $\tau / f_{s} = \frac{74.2}{149.2} = 0.50 \leq 1.00$ 応力度比



図 5-12 刃形プレート諸元

		発生応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	発生応力度 許容応力度
ベースプレート	曲げ応力度	181.8	258.5	$0.71 \leq 1.00$
リブプレート	溶接部せん断応力度	110.7	149.2	$0.75 \leq 1.00$
刃形プレート	曲げ応力度	202.2	258.5	$0.79 \leq 1.00$

表 5-11 荷重時算定結果一覧

- (3) 補助鉄塔脚部の評価
 - a. 設計荷重

設計荷重は、以下に示す荷重により補助鉄塔脚部の検討を行う。 最大圧縮力 $_{\rm C}N_{\rm T} = 8685$ kN 設計用地震荷重 斜め方向 最大引張力 $_{\rm T}N_{\rm T} = 5636$ kN 設計用地震荷重 斜め方向 最大水平力 $H_{\rm T} = 2056$ kN 設計用地震荷重 斜め方向 ただし、最大水平力は $H_{\rm T} = \sqrt{R_{\rm x}^{2} + R_{\rm y}^{2}}$ とする。

図 5-13 に鉄塔脚部の形状図を示す。



図 5-13 補助鉄塔脚部

補助鉄塔脚部に作用する反力に対して, V-2-2-15-1「主排気筒の耐震性についての計算書」のS。設計用荷重による反力との比較を表 5-12 に示す。

表 5-12 に示すように、竜巻時の反力はS。設計用荷重による反力の方が大きく、S。設計用荷重に包絡されることを確認できるため、以降の検討は省略する。

	竜巻	S。設計用
	荷重時	荷重時
圧縮力(kN)	8685	9176
引張力 (kN)	5636	7525
水平力 (kN)	2056	2202

表 5-12 補助鉄塔脚部反力比較

V-3-別添 1-1-9 配管及び弁の強度計算書

目次

1. 概要
2. 基本方針1
2.1 位置1
2.2 構造概要2
2.3 評価方針
2.4 適用規格5
3. 強度評価方法
3.1 記号の定義6
3.2 評価対象部位
3.3 荷重及び荷重の組合せ8
3.4 許容限界10
3.5 評価方法
4. 評価条件
5. 強度評価結果

1. 概要

本資料は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、屋外 に設置している中央制御室換気系冷凍機周り、残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル 発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ(以下「ディーゼル 発電機用海水ポンプ」という。)周りの配管及び弁並びに非常用ガス処理系排気筒(配管部含 む。以下同じ。)が竜巻時及び竜巻通過後においても、各配管及び弁の機能維持を考慮して、主 要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

配管及び弁について、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、配管及び弁の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

屋外に設置している中央制御室換気系冷凍機周り,残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管及び弁並びに非常用ガス処理系排気筒は, V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり,図2-1に示す位置に設置する。



2.2 構造概要

配管及び弁について, V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の 「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ,配管及び弁の構造を示す。

配管及び弁は、配管本体及び弁で構成され、支持構造物により床、壁等から支持する構造 となる。配管及び弁の概要図を図2-2に、各エリアの配管及び弁の配置図を図2-3、図2-4に示 す。



図2-2 配管及び弁の概要図





2.3 評価方針

配管及び弁の強度評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の 「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並び に許容限界を踏まえ、配管及び弁の評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、許容限界に収 まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて 計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

屋外の配管及び弁の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに 組み合わせる荷重(以下「設計荷重」という。)の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象 部位を選定する。

(1) 衝突評価の評価方針

配管及び弁の衝突評価フローを図2-5に示す。衝突評価においては、防護ネットを設置す る場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さから計算上 必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービン ミサイル評価について(昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会)」で用いられている式を 準用し、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.強度評価方 法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。配管及び弁の衝突評価における許容限 界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 許容限界」に 示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの 厚さとする。 なお,非常用ガス処理系排気筒が仮に飛来物による衝突によって貫通しても,その貫通箇 所又は本来の排気箇所から排気され,かつ速やかに補修する方針とするため,非常用ガス 処理系排気筒の衝突評価は行わない。



図2-5 配管及び弁の衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

配管及び弁の構造強度評価フローを図2-6に示す。構造強度評価において,配管及び弁に 対し,設計竜巻による荷重に内圧及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認す る。

構造強度評価では、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。配管及び弁の許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への 配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力 発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984」((社)日 本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」((社)日本電気協 会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」((社)日本電 気協会)(以下「JEAG4601」という。)の許容応力状態ⅢASとする。

4



図2-6 配管及び弁の構造強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格,基準等を以下に示す。

- ・「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」
- ・「建築物荷重指針・同解説」((社)日本建築学会,2004改定)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984」(社)日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」(社)日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」(社)日本電気協会
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007」(社) 日本機械 学会(以下「JSME」という。)

- 3. 強度評価方法
- 3.1 記号の定義
 - (1) 衝突評価の記号の定義

配管及び弁の衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

記号	単位	定義
D o	mm	配管の外径
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
М	kg	評価において考慮する飛来物の質量
Р	MPa	最高使用圧力
S	MPa	許容引張応力
Т	mm	鋼板の貫通限界厚さ
t	mm	配管の計算上必要な厚さ
V	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度
η	_	継手効率

表3-1 衝突評価に用いる記号

(2) 構造強度評価の記号の定義

配管及び弁の構造強度評価に用いる記号を表3-2に示す。

表3-2 構造強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
		単位長さ当たりの施設の受圧面積(風向に垂直な面に投影し
A		た面積)
С	_	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	_	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度(g =9.80665)
L	m	支持間隔
М	N•m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
Р	MPa	内圧
q	N/m^2	設計用速度圧
S y	MPa	JSME付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
W_{W}	N/m	設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重

記号	単位	定義
W	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm ³	断面係数
π	—	円周率
ΔΡ	N/m^2	気圧差
σ ₁ , σ ₂	MPa	配管に生じる応力
σψΡ	MPa	気圧差により生じる応力
σ_{WT1} , σ_{WT2}	MPa	複合荷重により生じる応力
$\sigma_{ m WW}$	MPa	風圧力により生じる応力
σ 自重	MPa	自重により生じる応力
σ 内圧	MPa	内圧により生じる応力

表3-2 構造強度評価に用いる記号(2/2)

3.2 評価対象部位

配管及び弁の評価対象部位は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方 針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定し ている構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、配管及び弁に衝撃荷重が作用し貫入する可能 性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位とし て選定する。弁が設置されている箇所においては,弁の板厚は配管の板厚に比べ厚く,配管 の評価に包絡されるため,配管の評価のみ実施する。

配管及び弁の衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。



図3-1 配管及び弁の衝突評価の評価対象部位

(2) 構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は,配管本体に作用する。なお,弁を設置している箇所においては,弁の断面係数は配管に比べ大きく,配管の評価に包絡されるため配管の評価のみを実施する。サポート(配管支持構造物)については,建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており,配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも,作用荷重は耐荷重以下であるた

め、竜巻による荷重に対するサポートの設計は耐震設計に包絡される。 このことから、配管本体を評価対象部位として選定する。 配管及び弁の構造強度評価における評価対象部位を図3-2に示す。



図3-2 配管及び弁の評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の 強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用い る。

(1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価においては考慮する飛来物として防護ネット(ネットの網目寸法40(mm))をすり 抜ける砂利を設定し,砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては,評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず,貫入するものとし て評価する。

砂利の諸元を表3-3,配管及び弁の衝突評価に用いる荷重を表3-4に示す。

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/ 水平方向	y (s) 鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.18	62	42

表3-3 砂利の諸元

表3-4 配管及び弁の衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設分類 施設名称		荷重	
屋外の <mark>外部事象</mark> 防護	町笠立だ会	正 1 <i>位</i> 5	ホーム 一本	
対象施設	町官及い井	凹C 官	「飛米物による倒挙何里」	

- (2) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ
 - a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

- (a) 常時作用する荷重 常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。
- (b) 設計
 設計
 ・ おお

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。防護ネット及び防護鋼板等に よる風圧力の低減はないものとして保守的な評価を行う。なお,非常用ガス処理系排 気筒は大口径の配管が開放された施設であるため,気圧差は発生しないことから気圧 差による荷重は考慮しない。また,非常用ガス処理系排気筒が仮に飛来物による衝撃 荷重によって貫通しても,その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気され,かつ速や かに補修する方針とするため,設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝 撃荷重を考慮しない。さらに,防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による 衝撃は瞬間的で,衝突時間が極めて短く,衝突される機器へ伝わる加速度が小さいこ とから,機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重と これに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ. 風圧力による荷重(Ww)

風圧力による荷重Wwは、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の 方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

 $W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$

ロ. 気圧差による荷重(W_P)

気圧差による荷重W_Pは, V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の 方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法に従って, 気圧差を見かけ上の配管の 内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は,「3.5(2)計算方法」に示す。

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては,配管に作用する内圧を考慮する。なお,非常 用ガス処理系排気筒の内圧については,気圧差同様考慮しない。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の 強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏 まえ、配管及び弁の評価対象部位ごとに設定する。

配管本体には、自重、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び内圧が作用する。 構造強度評価に用いる荷重の組合せを表3-5に示す。

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護 対象施設	配管及び弁(中央制御 室換気系冷凍機,残留 熱除去系海水系ポンプ 及びディーゼル発電機 海水ポンプ周り)	配管本体	 ①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④内圧
	非常用ガス処理系排気 筒	配管本体	 ①風圧力による荷重 ②自重

表 3-5 荷重の組合せ

3.4 許容限界

配管及び弁の許容限界は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の 「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定した評 価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚 さを差し引いた残りの厚さ及びJEAG4601に基づく許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力の許 容荷重を用いる。

(1) 衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は,評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し,外殻 を構成する部材が,機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認する ため,評価式により算定した貫通限界厚さが配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計 算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを許容限界とする。

残留熱除去系海水系ポンプ周りの配管及び弁における計算上必要な厚さについては,昭和 50年6月5日付け50資庁第4488号にて認可された工事計画の工事計画書の添付書類「Ⅲ-1-2-1 残留熱除去系海水系配管の規格計算書」の値を用いる。

また、ディーゼル発電機海水ポンプ周りの配管及び弁における計算上必要な厚さについて は、昭和50年10月6日付け50資庁第8313号にて認可された工事計画の工事計画書の添付書類

「Ⅲ-1-12-2 非常用予備電源装置内燃機関冷却系海水配管の規格計算書」の値を用いる。

中央制御室換気系冷凍機周りの配管及び弁における計算上必要な厚さは,JSME PPD-3411に基づき,以下の式より算出する。

 $t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$

配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを表 3-6に示す。

外部事象防護対象施設	外殻を構成する 部材の厚さ (mm)	計算上必要な 厚さ (mm)	 外殻を構成する部材の厚 さから計算上必要な厚さ を差し引いた残りの厚さ (mm)
残留熱除去系海水系ポン プ周りの配管及び弁	6.0*	1.9*	4.1
ディーゼル発電機海水ポ ンプ周りの配管及び弁	9. 3	1.0	8. 3
中央制御室換気系冷凍機 周りの配管及び弁	5.5	0.3	5.2

表3-6 配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを 差し引いた残りの厚さ

注記 *:工事計画書記載の配管のうち,外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを 差し引いた残りの厚さが最小となる配管を選定

(2) 構造強度評価の許容限界

許容限界はJEAG4601を準用し、「クラス2,3配管」の許容限界を適用する。許容応 力状態Ⅲ_ASから算出した許容応力を許容限界とする。設計荷重に対して、当該施設に要求さ れる安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ_ASから算出した以下 の許容応力を許容限界とする。JEAG4601に従い、JSME付録材料図表Part5,6の表 にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の最高使用温度又は周囲環境温度に応じた値をと るものとするが、温度がJSME付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算 する。ただし、JSME付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

配管の構造強度評価における許容限界を表3-7,許容応力を表3-8に示す。

苏应内中心能	許容限界
计谷心刀状態	一次応力(膜+曲げ)
III _A S	S y

表3-7 配管の許容限界

亚体计分配签	温度条件	S y	S
計11四入1家自己官	(°C)	(MPa)	(MPa)
中央制御室換気系冷凍機周り配管	65.6^{*1}	231	103
岸の熱吟土で海水でポンプ国な副等	50* ²	239	_
次留熱际云ボ御小ボホンノ 同り配官	50* ²	319	_
ディーゼル発電機用海水ポンプ周り配管	50* ²	239	_
非常用ガス処理系排気筒	72* ¹	232	

表 3-8 配管の許容応力

注記 *1:最高使用温度

*2:周囲環境温度

- 3.5 評価方法
 - (1) 衝突評価の評価方法

配管及び弁の衝突評価は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」 の「4. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて 算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^{2}}{1.4396 \times 10^{9} \cdot K^{2} \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2) 構造強度評価の評価方法

配管及び弁の構造強度評価は、V-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方 針」の「5.強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

a. 計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な荷 重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径、材質ごとに サポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。保温材を使用している配管について は、保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置している場合はサポート 支持間隔が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面 積に包絡される。

配管モデル図を図3-3に示す。



- b. 計算方法
 - (a) 竜巻による応力計算
 - イ. 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり,曲げ応力を発 生させるものとして,以下の式により算定する。

$$\sigma_{WW} = \frac{M}{Z} = \frac{W_W \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

$$\Xi = \frac{\pi}{32 \cdot D} \{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \}$$

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる1次一般膜応力が増加 すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{\rm WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、(a)、(b)項の複合荷重により生じる応力 σ_{WT1} 及び σ_{WT2} は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT 1} = \sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT 2} = \sigma_{WW} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として,配管に常時作用する自重及び運転時に作用す る内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる1次一般膜応力 は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{\beta \pm} = \frac{\mathbf{w} \cdot \mathbf{L}^{2}}{8 \cdot \mathbf{Z}}$$
$$\mathbf{w} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{g}$$
$$\sigma_{\beta \pm} = \frac{\mathbf{P} \cdot \mathbf{D}}{4 \cdot \mathbf{t}}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重 及び内圧により生じる1次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式 により σ_1 及び σ_2 を算出する。

 $\sigma_1 = \sigma_{\text{b}\textsc{s}} + \sigma_{\text{b}\textsc{f}} + \sigma_{\text{WT}1}$

 $\sigma_2 = \sigma_{\text{hff}} + \sigma_{\text{MF}} + \sigma_{\text{WT} 2}$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1~表 4-5 に示す。

ガスト係数	風力係数	設計用速度圧	気圧低下量	重力加速度
G	С	q	Δ P	g
(—)	(-)	(N/m^2)	(N/m^2)	(m/s^2)
1	1.2	6100	8900	9.80665

表 4-1 共通評価条件

表 4-2 評価条件(中央制御室換気系冷凍機周り配管)

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当た りの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
89.1	STPT410	3.25	5.5	17.8	0.1691	0.54

単位長さ当 単位長さ当た 管外径 支持間隔 板厚 内圧 たりの質量 りの受圧面積 材料 Р D L t А m (mm) (m) (mm) (MPa) (kg/m) (m^2/m) 355.6 STPT410 14.20 196.6 0.5556 11.1 3.46 0.7080 508.0 SM50B 14.20 12.7 358.0 3.46

表 4-3 評価条件(残留熱除去系海水系ポンプ周り配管)

表 4-4 評価条件 (ディーゼル発電機用海水ポンプ周り配管)

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当た りの受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
267.4	STPT410	11.03	9.3	119.9	0.4674	0.7

表 4-5 評価条件(非常用ガス処理系排気筒)

答从汉		古体即阿	七百	単位長さ当た	単位長さ当た
	++水	人 大 村 间 쪰	秋序 +	りの質量	りの受圧面積
	11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11		(mm)	m	А
		(III)		(kg/m)	(m^2/m)
457.2	SM400B	14.80	14.3	156.0	0.4572

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

飛来物	貫通限界厚さ		
	Т		
	(mm)		
	水平方向	鉛直方向	
砂利	1.0	1.0	

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な 厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは,配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを 差し引いた残りの厚さ未満である。また,弁の板厚は配管に比べ厚いため,配管の評価に包 絡される。

外部事象防護対象施設	 外殻を構成する部材の厚 さから計算上必要な厚さ を差し引いた残りの厚さ (mm) 	貫通限界厚さ T (mm)	結果
残留熱除去系海水系ポンプ 周りの配管及び弁	4.1 (配管)	1.0	貫通しない
ディーゼル発電機海水ポン プ周りの配管及び弁	8.3 (配管)	1.0	貫通しない
中央制御室換気系冷凍機周 りの配管及び弁	5.2 (配管)	1.0	貫通しない

表 5-2 配管及び弁の衝突評価結果(砂利)

- (2) 構造強度評価結果
 - a. 中央制御室換気系冷凍機周りの配管及び弁 構造強度評価結果を表5-3に示す。

中央制御室換気系冷凍機周りの配管に発生する応力は,許容応力以下である。また,弁 を設置している箇所においては,弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包絡され る。

管外径 D (mm)	材料	σ ₁ (MPa)	σ ₂ (MPa)	許容応力 (MPa)
89.1	STPT410	11	68	231

表 5-3 評価結果(中央制御室換気系冷凍機周り)

b. 残留熱除去系海水系ポンプ周りの配管及び弁

構造強度評価結果を表5-4に示す。

残留熱除去系海水系ポンプ周りの配管に発生する応力は,許容応力以下である。また, 弁を設置している箇所においては,弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包絡さ れる。

管外径		G	G -	<u> </u>
D	材料	0_1	(MD_2)	
(mm)		(MF a)	(MFa)	(MFa)
355.6	STPT410	77	179	239
508.0	SM50B	72	127	319

表 5-4 評価結果(残留熱除去系海水系ポンプ周り)

c. ディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管及び弁 構造強度評価結果を表5-5に示す。

ディーゼル発電機用海水ポンプ周りの配管に発生する応力は,許容応力以下である。また,弁を設置している箇所においては,弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包 絡される。

管外径 D (mm)	材料	σ ₁ (MPa)	σ ₂ (MPa)	許容応力 (MPa)
267.4	STPT410	44	154	239

表 5-5 評価結果(ディーゼル発電機用海水ポンプ周り)

d. 非常用ガス処理系排気筒

構造強度評価結果を表5-6に示す。

非常用ガス処理系排気筒に発生する応力は、許容応力以下である。

管外径 D	材料	σ ₁ (MPa)	σ ₂ (MPa)	許容応力 (MPa)
(mm)				
457.2	SM400B	20	63	232

表 5-6 評価結果(非常用ガス処理系排気筒)